

ROLE OF INTERMEDIATE WATER VARIABILITY IN THE CARIBBEAN AND GULF OF MEXICO IN DEGLACIAL CLIMATE CHANGE

DISSERTATION

DAVID-WILLEM POGGEMANN

KIEL 2017

ROLE OF INTERMEDIATE WATER VARIABILITY IN THE CARIBBEAN AND GULF OF MEXICO IN DEGLACIAL CLIMATE CHANGE

Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades *Dr. rer. nat.*

an der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät

der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

vorgelegt von

David-Willem Poggemann

Kiel, 2017

Abstract

Erstgutachter: Prof. Dr. Dirk Nürnberg

Zweitgutachter: Prof. Dr. Martin Frank

Eingereicht am: 04. April 2017

Tag der Disputation: 30. Mai 2017

Zum Druck genehmigt:

Der Dekan

Abstract

Abstract

During the last ~ 150 years, the manmade release of greenhouse gases has effectively shaped the global climate system. But the consequences for near and far future climate evolution are discussed controversial. In particular the impact of global warming on the global oceanic system remains unclear. Despite ongoing gradually increasing surface temperatures predicted by future climate models and intensified radiative forcing, surface air temperatures stalled for about 15 years at the beginning of the 21st century. Recent studies suggest the intermediate to deep Southern Ocean (SO) to be a major sink for global heat. Other studies additionally predict a major impact of ongoing climate warming on the Atlantic Meridional Overturning Circulation (AMOC). In general, future climate predictions and the oceans role in a warming global climate are debated widely. Paleo-oceanographic studies and the reconstruction of ocean circulation changes on millennial time scales might improve our understanding of the ocean-atmosphere interaction during a global climate change.

This Ph.D.-Thesis aims to analyse the intermediate water mass circulation changes in the Atlantic Ocean in response to major perturbations of the AMOC during the last deglaciation. The approach combined the use of benthic foraminiferal based Cd_w as a proxy for past nutrient saturation, Mg/Ca to reconstruct past Intermediate Water Temperatures, $\delta^{13}C$ as a proxy for nutrient saturation and ventilation and mixed planktonic foraminiferal ϵNd to reconstruct past water mass distribution in the tropical Atlantic.

The results of this Ph.D.-Thesis indicate two major signal transmission pathways from the northern hemisphere into the surface SO and further into Antarctic Intermediate Water (AAIW), therefore effectively altering its geochemical and thermal properties. Triggered by rapid northern hemisphere cooling events during the last deglaciation, the atmospheric circulation pattern and the Atlantic overturning circulation changed considerably. Likely due to the postulated resulting heat accumulation in the SO, AAIW rapidly warmed in its formation areas and transferred this heat signal into the tropical intermediate W-Atlantic. The northward heat transfer via AAIW therefore might have dampened the SO warming episodes during the last deglaciation. The convincing synchronicity of the here presented Intermediate Water Temperature record from the tropical W-Atlantic to N-Atlantic AMOC strength reconstructions indicate a rather short response time delayed by a maximum of ~ 1000 years.

In contrast, the deep oceanic response time in the SO was lagged by about 2.5 thousand years to northern hemisphere cooling events. The results of this thesis indicate major oceanic circulation re-organisation in the Atlantic due to the postulated AMOC perturbations during the last deglaciation. While the AMOC today is characterised by one overturning cell, it was split into two cells separated from each other during the Last Glacial Maximum. In delayed response to weakened or even collapsed overturning in the N-Atlantic, the SO experienced enhanced upwelling of nutrient-rich deep water. The reconstructed Cd_w data from the tropical W-Atlantic presented here indicate enhanced nutrient enrichment of AAIW during these times. The reconnection of the overturning cells during the last deglaciation therefore effectively shaped the geochemical signature of AAIW. The enhanced nutrient supply to the N-Atlantic via AAIW might have fed low latitude productivity and thereby dampened the deglacial atmospheric rise of CO_2 .

Abstract

Comparison of nutrient and Intermediate Water Temperature reconstructions from the S-Caribbean with appropriate datasets from the Gulf of Mexico (GoM) reveals a distinct warming effect of AAIW in the Caribbean and a simultaneous cooling effect of AAIW in the GoM during the last deglaciation. While AAIW was present in the S-Caribbean permanently during the past 24 thousand years, it was likely absent from the GoM during the Last Glacial Maximum and in the Holocene. The here presented data in contrast indicate enhanced northward dispersal of AAIW into the GoM during northern hemisphere cooling events. The Cd_w reconstructions from the GoM point to enhanced nutrient supply during these times. While the heat accumulation in the SO likely fostered distinct warming of AAIW due to AMOC perturbations, the reconstructed Intermediate Water Temperatures from the GoM indicate, that AAIW was still cold enough to effectively cool the GoM at intermediate depth.

The results of this Ph.D.-Thesis show that a weakening or even collapse of the AMOC might have triggered the geochemical and thermal properties of AAIW effectively. The reconstruction of intermediate water mass distribution therefore is a powerful tool to analyse ocean circulation changes under warming climate conditions and might help to understand future climate evolution and to improve oceanic model predictions.

Zusammenfassung

Durch den verstärkten Ausstoß von Treibhausgasen in den letzten ca. 150 Jahren beeinflusst der Mensch das globale Klimasystem nachhaltig. Die Auswirkungen auf die Klimaentwicklung in naher und ferner Zukunft sind jedoch unsicher. Besonders der Einfluss des Klimawandels auf das globale Ozeansystem bleibt umstritten. Entgegen der Prognosen durch Klimamodelle und trotz weiter ansteigendem Strahlungsantrieb, pausierte der Anstieg der oberflächennahen Temperaturen für ca. 15 Jahre zu Anfang des 21. Jahrhunderts. Einige Studien deuten darauf hin, dass tiefe und Zwischen-Wassermassen im Südozean diese Wärmeenergie aufgenommen haben könnten. Zusätzlich deuten andere Ergebnisse darauf hin, dass die globale Erwärmung in Zukunft die Ausprägung der thermohalinen Zirkulation im Atlantik deutlich beeinflussen könnte. Doch generell bleiben Prognosen für die Entwicklung des Klimas und deren Wechselwirkungen mit dem Ozean umstritten. Paläo-ozeanographische Untersuchungen sowie die Rekonstruktion von Ozeanzirkulationsänderungen über Zeitspannen von mehreren zehntausend Jahren, können das Verständnis von Ozean-Atmosphäre Wechselwirkungen unter dem Einfluss eines sich ändernden Klimas verbessern.

Ziel dieser Dissertation ist es, den Einfluss von Änderungen in der atlantischen Tiefenwasserbildung (AMOC) auf die Zirkulation von atlantischen Zwischenwassermassen während des Übergangs (Termination) aus dem letzten Glazial in die heutige Warmphase, das Holozän, zu untersuchen. Dazu werden folgende geochemische Werkzeuge genutzt: Cd_w zur Rekonstruktion der Verteilung von Nährstoffen im Wasser, das Mg/Ca-Verhältnis in Foraminiferenschalen um Temperaturen im Zwischenwasser (IWT) zu rekonstruieren, $\delta^{13}C$ als Anzeiger für Änderungen in der Nährstoffkonzentration und in der Ventilation sowie ϵNd um die Verteilung von verschiedenen Wassermassen zu analysieren.

Die Ergebnisse aus dieser Dissertation deuten darauf hin, dass klimatische Signale, hervorgerufen durch Änderungen in der nordatlantischen Tiefenwasserbildung, im Wesentlichen über zwei verschiedene Wege in den Oberflächenozean im Südatlantik und von dort weiter in das Antarktische Zwischenwasser (AAIW) übertragen wurden. Dadurch wurden sowohl die thermische, als auch die geochemische Signatur des AAIW verändert. Ausgelöst durch rapide Kälteeinbrüche in der Nordhemisphäre während der letzten Termination, änderten sich die ozeanischen und atmosphärischen Zirkulationsmuster deutlich. Durch den resultierenden Hitzestau im Südozean erwärmte sich das AAIW bei der Bildung und transportierte dieses Wärmesignal in den Westatlantik. Diese Aufnahme von Wärme durch das AAIW könnte den Temperaturanstieg im Südozean während der letzten Termination gedämpft haben. Die zeitliche Übereinstimmung der hier präsentierten Rekonstruktionen von Temperaturen im Zwischenwasser des tropischen Westatlantiks sowie publizierten Rekonstruktionen von Änderungen in der nordatlantischen Tiefenwasserbildung deuten darauf hin, dass die Reaktion der IWT im AAIW um maximal eintausend Jahre versetzt war. Damit wäre die Reaktionszeit der thermischen Änderungen im AAIW als relativ kurz anzusehen.

Im Gegensatz dazu reagierte der tiefe Südatlantik mit einem zeitlichen Versatz von ca. zweieinhalb tausend Jahren, deutlich später auf diese Änderungen. Die Ergebnisse dieser Dissertation deuten auf erhebliche Zirkulationsänderungen im tiefen Atlantik als Reaktion auf die Ausprägungsänderungen der AMOC während der letzten Termination hin. Während die

Zusammenfassung

heutige AMOC im Wesentlichen aus einer einzigen Umwälzzelle besteht, war sie im letzten Glazial durch zwei voneinander getrennte Umwälzzellen geprägt. Als während der letzten Termination die nordatlantische Tiefenwasserbildung gestört wurde, stieg zeitlich verzögert sehr nährstoffreiches Tiefenwasser im Südozean an die Oberfläche. Die hier präsentierten Cd_w -Rekonstruktionen aus dem tropischen Westatlantik deuten auf eine gleichzeitige Nährstoffanreicherung im AAIW hin. Die Verbindung der vorher voneinander getrennten Umwälzzellen während der letzten Termination hat die geochemische Signatur des AAIW deutlich verändert. Dieser verstärkte Eintrag von Nährstoffen in den Nordatlantik durch AAIW könnte die biologische Produktivität während der letzten Termination gefördert und damit den Anstieg von CO_2 in der Atmosphäre gebremst haben.

Der Vergleich der Nährstoff- und Temperaturrekonstruktionen aus der Karibik mit entsprechenden, hier präsentierten Datensätzen aus dem Golf von Mexico (GoM) deutet darauf hin, dass das AAIW während der rapiden Kältephasen in der Nordhemisphäre zwar erwärmt war, aber gleichzeitig den GoM in entsprechender Tiefe gekühlt hat. Im Gegensatz zur Südkaribik, stieß das AAIW während der letzten 24 tausend Jahre nicht permanent bis in den GoM vor und war im letzten Glazial und im Holozän dort nicht präsent. Die Ergebnisse dieser Arbeit deuten allerdings darauf hin, dass sich das AAIW während der Kältephasen weiter nach Norden und damit weiter in den GoM ausgebreitet hat. Die hier präsentierten Cd_w Rekonstruktionen deuten dementsprechend auf eine erhöhte Nährstoffzufuhr durch AAIW in den GoM zu diesen Zeiten hin. Während der Hitzestau im Südozean wahrscheinlich die Erwärmung im AAIW gesteuert hat, deuten die rekonstruierten Temperaturdaten darauf hin, dass es trotzdem kalt genug war um den GoM effektiv in der Zwischenwassertiefe zu kühlen.

Die gesamten Ergebnisse dieser Dissertation zeigen, dass eine Abschwächung oder sogar ein Kollaps der nordatlantischen Tiefenwasserbildung die geochemische und thermale Signatur des AAIW deutlich geändert haben. Die Analyse der Verbreitung und Veränderung von Zwischenwassermassen während eines sich ändernden Klimas ist damit eine nützliche Möglichkeit um neue Erkenntnisse auch über mögliche zukünftige Klimaentwicklungen zu erlangen und damit die Vorhersagen zu verbessern.